

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2000-241841

(P2000-241841A)

(43) 公開日 平成12年9月8日(2000.9.8)

(51) Int.Cl.⁷

G 0 2 F 1/37

識別記号

F I

G 0 2 F 1/37

データベース(参考)

2 K 0 0 2

審査請求 未請求 請求項の数 5 O L (全 9 頁)

(21) 出願番号 特願平11-40037

(22) 出願日 平成11年2月18日(1999.2.18)

(71) 出願人 000000295

沖電気工業株式会社

東京都港区虎ノ門1丁目7番12号

(72) 発明者 徐 長青

東京都港区虎ノ門1丁目7番12号 沖電気
工業株式会社内

(74) 代理人 100085419

弁理士 大垣 孝

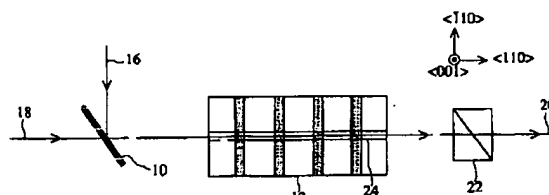
Fターム(参考) 2K002 AB12 BA03 CA13 EA07 EA30
GA04 HA18

(54) 【発明の名称】 波長変換装置

(57) 【要約】

【課題】 信号光と同じ波長の変換光を出力可能にする。

【解決手段】 波長変換素子12の導波路24に、ポンプ光16と信号光18とをWDMカプラ10により合波して入射させる。すると、擬似位相整合による差周波発生が生じて、波長変換素子からは、ポンプ光および信号光と共に変換光20が射出される。変換光の偏波方向は、ポンプ光の偏波方向がTE偏波方向に一致するとき、信号光の偏波方向に直交するTM偏波方向となる。偏光子22は、信号光の偏波方向がTE偏波方向に一致するとき、波長変換素子から射出した光のうち、TM偏波方向に一致する光を透過させるように調整されている。従って、変換光が選択的に透過される。



10:WDMカプラ 12:波長変換素子 16:ポンプ光 18:信号光
20:変換光 22:偏光子 24:導波路

第1の実施の形態の波長変換装置

【特許請求の範囲】

【請求項1】 ポンプ光と信号光とが入射したとき、擬似位相整合により、差周波または和周波の変換光を発生させる波長変換素子、および該波長変換素子から出射した光をその偏波方向に応じて選択的に透過させる偏光子を具えており、

前記波長変換素子は、前記ポンプ光の偏波方向が所定の第1偏波方向に一致するとき、偏波方向が前記信号光の偏波方向に直交する前記変換光を発生させるものであり、

前記偏光子は、前記信号光の偏波方向が前記第1偏波方向に一致するとき、前記波長変換素子から出射した光のうち、前記第1偏波方向に直交する第2偏波方向に一致する光を透過させるように調整されていることを特徴とする波長変換装置。

【請求項2】 ポンプ光と信号光とが入射したとき、擬似位相整合により、差周波または和周波の変換光を発生させる波長変換素子、

該波長変換素子から出射した光をその波長に応じて選択的に透過させる波長フィルタ、および該波長フィルタから出射した光をその偏波方向に応じて選択的に透過させる偏光子を具えており、

前記波長変換素子は、前記ポンプ光の偏波方向が所定の第1偏波方向に一致するとき、偏波方向が前記信号光の偏波方向に直交する前記変換光を発生させるものであり、

前記波長フィルタは、前記波長変換素子から出射した前記ポンプ光を除去して前記変換光を透過させるものであり、

前記偏光子は、前記信号光の偏波方向が前記第1偏波方向に直交する第2偏波方向に一致するとき、前記波長フィルタから出射した光のうち、前記第1偏波方向に一致する光を透過させるように調整されていることを特徴とする波長変換装置。

【請求項3】 請求項1または請求項2に記載の波長変換装置において、

前記波長変換素子は、ポンプ光および信号光が共に $\langle 110 \rangle$ 方向または $\langle -110 \rangle$ 方向に沿って伝搬可能な導波路を有しており、

前記第1偏波方向が、前記伝搬方向に垂直でかつ前記導波路が延在する $\langle 110 \rangle$ 方向および $\langle -110 \rangle$ 方向を含む面に沿ったTE偏波方向であることを特徴とする波長変換装置。

【請求項4】 信号光を、所定の第1偏波方向の信号光成分と、該第1偏波方向に直交する第2偏波方向の信号光成分とに分離する偏波分離器、

ポンプ光と前記偏波分離器から出射した第1偏波方向の信号光成分とが入射したとき、擬似位相整合により、差周波または和周波の第1変換光を発生させる第1波長変換素子、

ポンプ光と前記偏波分離器から出射した第2偏波方向の信号光成分とが入射したとき、擬似位相整合により、差周波または和周波の第2変換光を発生させる第2波長変換素子、

該第2波長変換素子から出射した光をその波長に応じて選択的に透過させる波長フィルタ、および前記第1波長変換素子および前記波長フィルタから出射した光を、各々の偏波方向に応じて選択的に透過させると共に、これら透過光を合成する偏波合成器を具えており、

前記第1波長変換素子は、前記ポンプ光の偏波方向が前記第1偏波方向に一致するとき、偏波方向が前記第2偏波方向に一致する前記第1変換光を発生させるものであり、

前記第2波長変換素子は、前記ポンプ光の偏波方向が前記第1偏波方向に一致するとき、偏波方向が前記第1偏波方向に一致する前記第2変換光を発生させるものであり、

前記波長フィルタは、前記第2波長変換素子から出射した前記ポンプ光を除去して前記第2変換光を透過させるものであり、

前記偏波合成器は、前記第1波長変換素子から出射した光のうち、前記第2偏波方向に一致する光を透過させると共に、前記波長フィルタから出射した光のうち、前記第1偏波方向に一致する光を透過させるように調整されていることを特徴とする波長変換装置。

【請求項5】 請求項4に記載の波長変換装置において、

前記第1および第2波長変換素子は、ポンプ光および信号光が共に $\langle 110 \rangle$ 方向または $\langle -110 \rangle$ 方向に沿って伝搬可能な導波路を有しており、

前記第1偏波方向が、前記伝搬方向に垂直でかつ前記導波路が延在する $\langle 110 \rangle$ 方向および $\langle -110 \rangle$ 方向を含む面に沿ったTE偏波方向であることを特徴とする波長変換装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】この発明は、光交換や光伝送システムにて用いられ、擬似位相整合による和周波発生あるいは差周波発生を利用する波長変換装置に関する。

【0002】

【従来の技術】将来の光クロスコネクタシステムでは、光波長変換素子が必須になると考えられている。また、光伝送システムにおける光ファイバの分散補償を、波長変換素子を用いて行うという提案がなされている。このような波長変換素子としては、擬似位相整合(QPM: Quasi Phase Matching)による和周波発生(SFG: Sum Frequency Generation)または差周波発生(DFG: Difference Frequency Generation)を利用するものが知られている。

【0003】図4は、従来の波長変換装置の構成を示す

ブロック図である。波長変換装置は、WDMカプラ10、波長変換素子12およびフィルタ14を具えている。この波長変換素子12は、ジンク・ブレンド（Zinc-Blend）結晶構造を有したAlGaAs結晶を用いている。波長変換素子12は、リッジ型の導波路とQPMグレーティングとにより構成されており、この導波路は入射光を $\langle 110 \rangle$ または $\langle -110 \rangle$ 方向に沿って伝搬させる。尚、ここでは、ミラー指数の「1のバー」を便宜的に「-1」で表している。

【0004】波長変換素子12の導波路には、ポンプ光16と信号光18とを、WDMカプラ10により合波して入射させる。波長変換素子12からは、これらポンプ光16および信号光18と共に、波長変換された光（変換光）が射出する。この変換光20のみを、フィルタ14により波長選択して透過（出力）させる。文献1「特開平9-33962」に記載されるように、ポンプ光16の偏波方向（電気ベクトルまたは磁気ベクトルの振動方向）がTE偏波方向に一致していると、変換光20の

$$\Delta k = 2\pi n_p / \lambda_p - 2\pi n_s / \lambda_s - 2\pi n_c / \lambda_c \quad \cdots (3)$$

という関係が成り立つ。ここで、記号 n_p 、 n_s および n_c はそれぞれポンプ光、信号光および変換光に対するQPMグレーティングの屈折率を表す。これら(2)および(3)式を満足すれば、良好な効率で波長変換が行われる。

【0009】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、従来の波長変換装置には、信号光と異なる波長の変換光を出力することはできるが、信号光と同じ波長の変換光を出力することができない、という問題がある。信号光の波長と変換光の波長とが同じであると、フィルタにより変換光だけを透過させることができないためである。

【0010】従って、従来より、信号光と同じ波長の変換光を出力することが可能な波長変換装置の出現が望まれていた。

【0011】

【課題を解決するための手段】そこで、この発明の波長変換装置によれば、ポンプ光と信号光とが入射したとき、擬似位相整合により、差周波または和周波の変換光を発生させる波長変換素子、およびこの波長変換素子から射出した光をその偏波方向に応じて選択的に透過させる偏光子を具えており、波長変換素子は、ポンプ光の偏波方向が所定の第1偏波方向に一致するとき、偏波方向が信号光の偏波方向に直交する変換光を発生させるものであり、偏光子は、信号光の偏波方向が第1偏波方向に一致するとき、波長変換素子から射出した光のうち、第1偏波方向に直交する第2偏波方向に一致する光を透過させるように調整されていることを特徴とする。

【0012】このように、波長変換素子は、偏波方向と共に第1偏波方向に一致したポンプ光および信号光から、擬似位相整合により、差周波または和周波の変換光

偏波方向は必ず信号光18の偏波方向と直交する。

【0005】この例では、周波数 ω_p のCW光（連続光）をポンプ光16とし、その偏波方向をTE偏波方向に固定してある。信号光18は、周波数 ω_s のパルス光であり、その偏波方向は任意である。差周波発生（DFG）の場合には、変換光20の周波数 ω_c が次式（1）により決定される。

$$\omega_c = \omega_p - \omega_s \quad \cdots (1)$$

例えば、 $1/\omega_p = 0.77 \mu\text{m}$ とし、 $1/\omega_s = 1.55 \mu\text{m}$ とすると、(1)式に従い、 $1/\omega_c = 1.53 \mu\text{m}$ となる。

【0007】また、波長変換素子12における位相不整合量を Δk とすると、

$$\Delta k \Lambda = 2\pi \quad \cdots (2)$$

となる。ここで、記号 Λ はQPMグレーティングの周期である。

【0008】さらに、ポンプ光、信号光および変換光の波長をそれぞれ λ_p 、 λ_s および λ_c で表すとき、

を発生させる。第1偏波方向が適当に設定してあると、変換光の偏波方向は信号光の偏波方向に直交する方向すなわち第2偏波方向となる。

【0013】そして、偏光子は、波長変換素子から射出した光のうち、第1偏波方向に直交する第2偏波方向の光を透過させる。上述したように、信号光の波長と変換光の波長とが同じであっても、信号光の偏波方向と変換光の偏波方向とを互いに直交した状態にできるので、偏光子からは変換光を選択的に透過させることができる。また、この変換光の偏波方向はポンプ光の偏波方向とも直交するので、変換光だけが出力される。

【0014】また、この発明の波長変換装置によれば、ポンプ光と信号光とが入射したとき、擬似位相整合により、差周波または和周波の変換光を発生させる波長変換素子、この波長変換素子から射出した光をその波長に応じて選択的に透過させる波長フィルタ、およびこの波長フィルタから射出した光をその偏波方向に応じて選択的に透過させる偏光子を具えており、波長変換素子は、ポンプ光の偏波方向が所定の第1偏波方向に一致するとき、偏波方向が信号光の偏波方向に直交する変換光を発生させるものであり、波長フィルタは、波長変換素子から射出したポンプ光を除去して変換光を透過させるものであり、偏光子は、信号光の偏波方向が第1偏波方向に直交する第2偏波方向に一致するとき、波長フィルタから射出した光のうち、第1偏波方向に一致する光を透過させるように調整されていることを特徴とする。

【0015】このように、波長変換素子は、偏波方向が第1偏波方向に一致したポンプ光と、偏波方向が第1偏波方向に直交する第2偏波方向に一致した信号光とから、擬似位相整合により、差周波または和周波の変換光を発生させる。第1偏波方向が適当に設定してあると、

変換光の偏波方向は信号光の偏波方向に直交した方向すなわち第1偏波方向となる。

【0016】そして、波長フィルタは、波長に応じて選択的に光を透過させるものであり、ここでは、波長変換素子から出射したポンプ光は除去し、波長変換素子から出射した変換光は透過させるように設計してある。偏光子は、波長フィルタから出射した光のうち、第1偏波方向の光を透過させる。従って、信号光の波長と変換光の波長とが同じであっても、信号光の偏波方向と変換光の偏波方向とを互いに直交した状態にできるので、偏光子からは変換光が選択的に透過される。

【0017】この発明の波長変換装置において、好ましくは、波長変換素子は、ポンプ光および信号光が共に<110>方向または<-110>方向に沿って伝搬可能な導波路を有しており、第1偏波方向が、伝搬方向に垂直でかつ導波路が延在する<110>方向および<-110>方向を含む面に沿ったTE偏波方向であると良い。

【0018】このように、第1偏波方向がTE偏波方向に一致するとき、変換光の偏波方向は信号光の偏波方向と直交ようになる。尚、ここでは、ミラー指数の「1のバー」を便宜的に「-1」で表している。

【0019】また、この発明の波長変換装置によれば、信号光を、所定の第1偏波方向の信号光成分と、この第1偏波方向に直交する第2偏波方向の信号光成分とに分離する偏波分離器、ポンプ光と偏波分離器から出射した第1偏波方向の信号光成分とが入射したとき、擬似位相整合により、差周波または和周波の第1変換光を発生させる第1波長変換素子、ポンプ光と偏波分離器から出射した第2偏波方向の信号光成分とを入射させ、擬似位相整合により、差周波または和周波の第2変換光を発生させる第2波長変換素子、この第2波長変換素子から出射した光をその波長に応じて選択的に透過させる波長フィルタ、および第1波長変換素子および波長フィルタから出射した光を、各々の偏波方向に応じて選択的に透過させると共に、これら透過光を合成する偏波合成器を具えており、第1波長変換素子は、ポンプ光の偏波方向が第1偏波方向に一致するとき、偏波方向が第2偏波方向に一致する第1変換光を発生させるものであり、第2波長変換素子は、ポンプ光の偏波方向が第1偏波方向に一致するとき、偏波方向が第1偏波方向に一致する第2変換光を発生させるものであり、波長フィルタは、第2波長変換素子から出射したポンプ光を除去して第2変換光を透過させるものであり、偏波合成器は、第1波長変換素子から出射した光のうち、第2偏波方向に一致する光を透過させると共に、波長フィルタから出射した光のうち、第1偏波方向に一致する光を透過させるように調整されていることを特徴とする。

【0020】このように、偏波分離器は、入射された信号光を、第1偏波方向の信号光成分と、第1偏波方向に

直交する第2偏波方向の信号光成分とに分離する。第1波長変換素子は、第1偏波方向の信号光成分と、第1偏波方向に一致したポンプ光とから、擬似位相整合により、差周波または和周波の第1変換光を発生させる。第2波長変換素子は、第2偏波方向の信号光成分と、第1偏波方向のポンプ光とから、擬似位相整合により、差周波または和周波の第2変換光を発生させる。第1偏波方向が適当に設定してあると、第1および第2変換光の偏波方向は、それぞれ入射信号光の偏波方向に直交した方向となる。従って、第1変換光の偏波方向は第2偏波方向となり、第2変換光の偏波方向は第1偏波方向となる。

【0021】そして、波長フィルタは、波長に応じて選択的に光を透過させるものであり、ここでは、第2波長変換素子から出射したポンプ光は除去して、第2波長変換素子から出射した第2変換光は透過させるように設計してある。また、偏波合成器は、第1波長変換素子から出射した第2偏波方向の光と、波長フィルタから出射した第1偏波方向の光とを透過させ、これら透過光を合成して出力する。従って、信号光の波長と第1および第2変換光の波長とが同じであっても、第1変換光の偏波方向を第1偏波方向の信号光成分の偏波方向に直交した状態になし、第2変換光の偏波方向を第2偏波方向の信号光成分の偏波方向に直交した状態になすことができるので、偏波合成器からは第1および第2変換光が選択的に透過される。

【0022】この発明の波長変換装置において、好ましくは、第1および第2波長変換素子は、ポンプ光および信号光が共に<110>方向または<-110>方向に沿って伝搬可能な導波路を有しており、第1偏波方向が、伝搬方向に垂直でかつ導波路が延在する<110>方向および<-110>方向を含む面に沿ったTE偏波方向であると良い。

【0023】このように、第1偏波方向がTE偏波方向に一致するとき、第1および第2変換光の偏波方向は信号光の偏波方向と直交ようになる。尚、ここでは、ミラー指数の「1のバー」を便宜的に「-1」で表している。

【0024】

【発明の実施の形態】以下、図を参照して、この発明の実施の形態につき説明する。尚、図は、この発明が理解できる程度に形状、大きさおよび配置関係を概略的に示しているに過ぎない。また、以下に記載される数値等の条件や材料は単なる一例に過ぎない。よって、この発明は、この実施の形態に何ら限定されることがない。

【0025】〔第1の実施の形態〕図1は、第1の実施の形態の波長変換装置の構成を示すブロック図である。この波長変換装置は、WDMカプラ10、波長変換素子12および偏光子22を具えている。波長変換素子12は、ポンプ光16と信号光18とが入射したとき、擬似

位相整合により、差周波または和周波の変換光20を発生させるものである。偏光子22は、波長変換素子12から出射した光をその偏波方向に応じて選択的に透過させるものである。

【0026】そして、波長変換素子12は、ポンプ光16の偏波方向が所定の第1偏波方向に一致するとき、偏波方向が信号光18の偏波方向に直交する変換光20を発生させる。また、偏光子22は、信号光18の偏波方向が第1偏波方向に一致するとき、波長変換素子12から出射した光のうち、第1偏波方向に直交する第2偏波方向に一致する光を透過させるように調整されている。

【0027】上述の波長変換素子12は、AlGaAsの半導体結晶材料を用いて形成されている。この波長変換素子12は、リッジ型の導波路24を具えている。この導波路24は、 $\langle 110 \rangle$ 方向および $\langle -110 \rangle$ 方向を含む面に沿って延在している。入射光は、この導波路24により、 $\langle 110 \rangle$ 方向または $\langle -110 \rangle$ 方向に沿って伝搬される。この例では、入射光を $\langle 110 \rangle$ 方向に伝搬させている。尚、ミラー指数の「1のバー」を便宜的に「-1」で表している。

$$\Delta k = 2\pi n_p / \lambda_p - 2\pi n_s / \lambda_s - 2\pi n_c / \lambda_c \quad \cdots (3)$$

という関係が成り立つ。ここで、記号 n_p 、 n_s および n_c はそれぞれポンプ光、信号光および変換光に対するQPMグレーティングの屈折率を表す。これら(2)および(3)式を満足すれば、良好な効率で波長変換が行われる。この例では、 $\Lambda = 4.2 \mu\text{m}$ に設定してある。

【0032】そして、この例では、周波数 ω_p のCW光(連続光)をポンプ光16とし、その偏波方向を偏光子および偏波回転素子等により、第1偏波方向としてのTE偏波方向($\langle -110 \rangle$ 方向)に固定している。また、信号光18は周波数 ω_s のパルス光であり、その偏波方向をポンプ光16と同じTE偏波方向に固定している。

【0033】波長変換素子12の導波路24には、ポンプ光16と信号光18とを、WDMカプラ10により合波して入射させる。すると、擬似位相整合による差周波発生が生じて、波長変換素子12からは、これらポンプ光16および信号光18と共に変換光20が出射する。これら波長変換素子12から出射した光は偏光子22に入射する。

【0034】上述したように、ポンプ光16および信号光18の偏波方向である第1偏波方向が、入射光の伝搬方向($\langle 110 \rangle$)に垂直でかつ導波路24が延在する $\langle 110 \rangle$ 方向および $\langle -110 \rangle$ 方向を含む面に沿ったTE偏波方向($\langle -110 \rangle$)である。このように、ポンプ光16の偏波方向がTE偏波方向に一致しているとき、変換光20の偏波方向は信号光18の偏波方向に直交する(文献1)。従って、変換光20の偏波方向は、TE偏波方向に直交するTM偏波方向($\langle 001 \rangle$)である。

【0028】また、この導波路24には、擬似位相整合を満足させるため、非線形定数や屈折率の互いに異なる領域が入射光の伝搬方向($\langle 110 \rangle$ 方向)に沿って交互に周期的に配列してなるグレーティング(QPMグレーティング)が形成されている。導波路24中にポンプ光16および信号光18を伝搬させると、擬似位相整合が満足して、効率よく和周波および差周波の変換光20が発生する。

【0029】例えば、差周波発生(DFG)の場合には、ポンプ光16、信号光18および変換光20の周波数をそれぞれ ω_p 、 ω_s および ω_c で表すと、これらの間に次式(1)の関係が成り立つ。

$$\omega_c = \omega_p - \omega_s \quad \cdots (1)$$

また、波長変換素子12における位相不整合量を Δk とすると、

$$\Delta k \Lambda = 2\pi \quad \cdots (2)$$

となる。ここで、記号 Λ はQPMグレーティングの周期である。

【0031】さらに、ポンプ光、信号光および変換光の波長をそれぞれ λ_p 、 λ_s および λ_c で表すとき、

【0035】また、偏光子22が、波長変換素子12から出射した光のうち、TM偏波方向の光を透過させるように調整されている。波長変換素子12から出射したポンプ光16、信号光18および変換光20のうち、TM偏波方向の光は変換光20だけである。このため、偏光子22では、変換光20を選択的に透過させることができる。よって、この波長変換装置に信号光18を入射させると、この信号光18の代わりに変換光20が出力される。

【0036】そして、このように、偏波方向の相違に基づき変換光20を選択出力させるため、変換光20の波長が信号光18の波長と等しいときでも正常に動作する。

【0037】例えば、上式(1)において、 ω_p の値が ω_s の値の2倍になるように設定する。ここでは、 $1/\omega_p = 0.77 \mu\text{m}$ とし、 $1/\omega_s = 1.54 \mu\text{m}$ とする。このとき、(1)式に従い、 $1/\omega_c = 1.54 \mu\text{m}$ となる。従って、変換光20の波長と信号光18の波長が等しくなる。

【0038】このような場合、従来の構成では、波長フィルタを用いて変換光20の選択透過を行っていたため、変換光20と共に信号光18も透過させてしまう、あるいは信号光18と共に変換光20も除去してしまう。これに対して、この実施の形態の構成では、信号光18および変換光20の各々の偏波方向が互いに異なるように光学系を組み、偏光子22により偏波方向の違いを感知して変換光20の選択透過を行う。従って、変換光20の波長が信号光18の波長と等しい場合であっても、信号光18は除去され、変換光20だけが出力され

る。

【0039】〔第2の実施の形態〕図2は、第2の実施の形態の波長変換装置の構成を示すブロック図である。この波長変換装置は、WDMカブラ10、波長変換素子12、波長フィルタ26および偏光子22を具えている。波長変換素子12は、ポンプ光16と信号光18とが入射したとき、擬似位相整合により、差周波または和周波の変換光20を発生させるものである。波長フィルタ26は、波長変換素子12から出射した光をその波長に応じて選択的に透過させるものである。偏光子22は、波長フィルタ26から出射した光をその偏波方向に応じて選択的に透過させるものである。

【0040】そして、波長変換素子12は、ポンプ光16の偏波方向が所定の第1偏波方向に一致するとき、偏波方向が信号光18の偏波方向に直交する変換光20を発生させる。また、波長フィルタ26は、波長変換素子12から出射したポンプ光16を除去して変換光20を透過させる。偏光子22は、信号光18の偏波方向が第1偏波方向に直交する第2偏波方向に一致するとき、波長フィルタ26から出射した光のうち、第1偏波方向に一致する光を透過させるように調整されている。

【0041】上述の波長変換素子12の構造は、第1の実施の形態で説明した通りである。すなわち、この波長変換素子12の導波路24は、 $\langle 110 \rangle$ 方向および $\langle -110 \rangle$ 方向を含む面に沿って延在している。この導波路24には、擬似位相整合を生じさせるためのQPMグレーティングが形成されている。導波路24中にポンプ光16および信号光18を伝搬させると、擬似位相整合が生じて、上式(1)に従い、和周波および差周波の変換光20が発生する。

【0042】この例では、周波数 ω_p のCW光(連続光)をポンプ光16とし、その偏波方向を偏光子および偏波回転素子等により、第1偏波方向としてのTE偏波方向($\langle -110 \rangle$ 方向)に固定している。また、信号光18は周波数 ω_s のパルス光であり、その偏波方向を第2偏波方向としてのTM偏波方向($\langle 001 \rangle$ 方向)に固定している。

【0043】波長変換素子12の導波路24には、ポンプ光16と信号光18とを、WDMカブラ10により合波して入射させる。すると、擬似位相整合による差周波発生が生じて、波長変換素子12からは、これらポンプ光16および信号光18と共に変換光20が出射する。これら波長変換素子12から出射した光は波長フィルタ26に入射する。

【0044】上述したように、ポンプ光16の偏波方向である第1偏波方向は、入射光の伝搬方向($\langle 110 \rangle$)に垂直でかつ導波路24が延在する $\langle 110 \rangle$ 方向および $\langle -110 \rangle$ 方向を含む面に沿ったTE偏波方向($\langle -110 \rangle$)である。このように、ポンプ光16の偏波方向がTE偏波方向に一致しているとき、変換光20

の偏波方向は信号光18の偏波方向に直交する(文献1)。信号光18の偏波方向がTM偏波方向($\langle 001 \rangle$)であるため、変換光20の偏波方向は、TM偏波方向に直交するTE偏波方向である。

【0045】また、上述の波長フィルタ26は、光を波長に応じて選択的に透過させる。この例の波長フィルタ26においては、ポンプ光16は除去され、変換光20は透過される。従って、波長変換素子12から出射した光のうち、変換光20は波長フィルタ26を透過する。また、信号光18も波長に応じて波長フィルタ26を透過可能である。

【0046】例えば、変換光20の波長と信号光18の波長とが等しくても良い。すなわち、 $\omega_p = 2\omega_s$ の場合、 $\omega_s = \omega_c$ となり、波長フィルタ26からは変換光20と共に信号光18も出射する。一方、偏光子22は、波長フィルタ26から出射した光のうち、TE偏波方向の光だけを透過させるように調整されている。従って、波長フィルタ26から出射した信号光18および変換光20のうち、TE偏波方向である変換光20だけが透過される。よって、この波長変換装置に信号光18を入射させると、この信号光18の代わりに、変換光20が出力される。

【0047】〔第3の実施の形態〕図3は、第3の実施の形態の波長変換装置の構成を示すブロック図である。この波長変換装置は、偏波分離器28、WDMカブラ10a、10b、第1波長変換素子12a、第2波長変換素子12b、波長フィルタ26および偏波合成器30を具えている。

【0048】偏波分離器28は、信号光18を、所定の第1偏波方向の信号光成分18aと、第1偏波方向に直交する第2偏波方向の信号光成分18bとに分離するものである。光ファイバ32により伝搬された光は、この偏波分離器28に入射して、互いに直交する偏波方向成分に分離される。そして、第1偏波方向の信号光成分18aは、第1波長変換素子12aに入射し、第2偏波方向の信号光成分18bは、第2波長変換素子12bに入射する。偏波分離器28として、例えば、偏光ビームスプリッタ(PBS: Polarization Beam Splitter)を用いることができる。

【0049】第1波長変換素子12aは、ポンプ光16と偏波分離器28から出射した第1偏波方向の信号光成分18aとが入射したとき、擬似位相整合により、差周波または和周波の第1変換光20aを発生させるものである。また、第2波長変換素子12bは、ポンプ光16と偏波分離器28から出射した第2偏波方向の信号光成分18bとが入射したとき、擬似位相整合により、差周波または和周波の第2変換光20bを発生させるものである。

【0050】これら第1および第2波長変換素子12aおよび12bは、互いに特性が等しく、それぞれ第1お

よび第2の実施の形態で説明した波長変換素子12と同じ構造である。これら第1および第2波長変換素子12aおよび12bは、それぞれ導波路24aおよび24bを有している。これら導波路24aおよび24bには、ポンプ光16および信号光18a、18bが共に $\langle 110 \rangle$ 方向または $\langle -110 \rangle$ 方向に沿って伝搬可能である。従って、これら波長変換素子12a、12bの導波路24a、24bは、 $\langle 110 \rangle$ 方向および $\langle -110 \rangle$ 方向を含む面に沿って延在している。この例では、各導波路24aおよび24bの長手方向が、それぞれ $\langle 110 \rangle$ 方向に沿って延在するように、第1および第2波長変換素子12aおよび12bをそれぞれ配置してある。

【0051】また、これら導波路24a、24bには、擬似位相整合を生じさせるためのQPMグレーティングが形成されている。導波路24a、24b中にポンプ光16および信号光18a、18bを伝搬させると、擬似位相整合が生じて、上式(1)に従い、和周波および差周波の変換光20a、20bがそれぞれ発生する。

【0052】この例では、周波数 ω_p のCW光(連続光)をポンプ光16とし、その偏波方向を偏光子および偏波回転素子等により、第1偏波方向としてのTE偏波方向に固定している。また、信号光18は周波数 ω_s のパルス光である。上述の第2偏波方向は、TE偏波方向に直交するTM偏波方向となる。

【0053】第1波長変換素子12aの導波路24aには、ポンプ光16と第1偏波方向の信号光成分18aとを、WDMカプラ10aにより合波して入射させる。すると、擬似位相整合による差周波発生が生じて、第1波長変換素子12aからは、これらポンプ光16および信号光18aと共に第1変換光20aが射出する。これら第1波長変換素子12aから射出した光は偏波合成器30に入射する。尚、第1波長変換素子12aは、ポンプ光16の偏波方向が第1偏波方向すなわちTE偏波方向($\langle -110 \rangle$)に一致するとき、偏波方向が第2偏波方向すなわちTM偏波方向($\langle 001 \rangle$)に一致する第1変換光20aを発生させる。

【0054】一方、第2波長変換素子12bの導波路24bには、ポンプ光16と第2偏波方向の信号光成分18bとを、WDMカプラ10bにより合波して入射させる。すると、擬似位相整合による差周波発生が生じて、第2波長変換素子12bからは、これらポンプ光16および信号光18bと共に第2変換光20bが射出する。これら第2波長変換素子12bから射出した光は波長フィルタ26に入射する。尚、第2波長変換素子12bは、ポンプ光16の偏波方向が第1偏波方向すなわちTE偏波方向($\langle -110 \rangle$)に一致するとき、偏波方向が第1偏波方向すなわちTE偏波方向($\langle 001 \rangle$)に一致する第2変換光20bを発生させる。

【0055】また、波長フィルタ26は、第2波長変換

素子12bから射出した光をその波長に応じて選択的に透過させるものである。この波長フィルタ26において、第2波長変換素子12bから射出したポンプ光16は除去され、第2変換光20bは透過する。尚、第2波長変換素子12bから射出した第2偏波方向の信号光成分18bも、その波長に応じて波長フィルタ26を透過可能である。例えば、第2変換光20bの波長と信号光18bの波長とが等しい場合、波長フィルタ26からは第2変換光20bと共に信号光18bも射出する。波長フィルタ26を透過した光は、偏波合成器30に入射する。

【0056】この偏波合成器30は、第1波長変換素子12aおよび波長フィルタ26から射出した光を、各々の偏波方向に応じて選択的に透過させると共に、これら透過光を合成するものである。この例の偏波合成器30は、第1波長変換素子12aから射出した光のうち、第2偏波方向(TM偏波方向)に一致する光を透過させると共に、波長フィルタ26から射出した光のうち、第1偏波方向(TE偏波方向)に一致する光を透過させるように調整されている。偏波合成器30として、例えば、偏光ビームスプリッタ(PBS)を用いることができる。

【0057】上述したように、第1波長変換素子12aから射出したポンプ光16、第1偏波方向の信号光成分18aおよび第1変換光20aのうち、TM偏波方向の光は第1変換光20aだけである。このため、偏波合成器30では、第1変換光20aが選択的に透過される。

【0058】従来の構成は、波長フィルタを用いて第1変換光20aの選択透過を行う構成に相当するため、第1変換光20aの波長と信号光18aの波長とが等しくなる $\omega_p = 2\omega_s$ の場合、第1変換光20aと共に信号光18aも透過してしまう、あるいは信号光18aと共に第1変換光20aも除去されてしまう。これに対して、この実施の形態の構成では、信号光18aおよび第1変換光20aの各々の偏波方向が互いに異なるようにしてある。従って、第1変換光20aの波長が信号光18aの波長と等しくても、偏波合成器30において信号光18aは除去され、第1変換光20aだけが透過する。

【0059】一方、波長フィルタ26から射出した第2偏波方向の信号光成分18bおよび第2変換光20bのうち、TE偏波方向の光は第2変換光20bだけである。このため、偏波合成器30では、第2変換光20bが選択的に透過される。

【0060】この場合も、第2変換光20bの波長と信号光18bの波長とが等しくても良い。このとき、波長フィルタ26からは第2変換光20bと共に信号光18bも射出する。しかし、偏波合成器30では、波長フィルタ26から射出した光のうち、TE偏波方向の光だけを透過させるように調整されている。従って、波長フィ

ルタ26から出射した信号光18bおよび第2変換光20bのうち、TE偏波方向である第2変換光20bだけが透過される。

【0061】そして、偏波合成器30では、透過可能な第1変換光20aおよび第2変換光20bが合成され、変換光20として光ファイバ34に出力される。よって、この波長変換装置に信号光18を入射させると、この信号光18の代わりに、変換光20が出力される。

【0062】以上説明したように、この実施の形態の波長変換装置によれば、信号光18の偏波方向は任意であってよい。通常、長いファイバ中を伝搬された信号光の偏波方向は不確定なことが多い。しかし、上述の構成によれば、信号光の偏波方向が任意であっても、偏波分離器28により偏波分離を行い、各偏波方向の光を、それぞれ波長変換した後合成するので問題がない。

【0063】しかも、この実施の形態の波長変換装置は、光ファイバ32において発生した信号光の分散を補償することができる構成となっている。すなわち、周知のスペクトル反転を利用した分散補償器として構成されている。従って、任意の偏波方向の信号光に対して、その中心波長を変えずに分散補償を行うことができる。

【0064】尚、上述した各実施の形態において、波長変換素子はAlGaAs結晶を用いたものを例にしたが、これに限らず、例えばジンク・ブレンド(Zinc-Blend)結晶構造を有する材料で構成したものを用いてもよい。

【0065】また、差周波発生を利用する場合に限らず、和周波発生を利用する構成としてもよい。

【0066】

【発明の効果】この発明の波長変換装置によれば、波長変換素子は、偏波方向が共に第1偏波方向に一致したポンプ光および信号光から、擬似位相整合により、差周波または和周波の変換光を発生させる。第1偏波方向が適

当に設定してあると、変換光の偏波方向は信号光の偏波方向に直交した方向すなわち第2偏波方向となる。

【0067】そして、偏光子は、波長変換素子から出射した光のうち、第1偏波方向に直交する偏波方向の光を透過させる。上述したように、信号光の波長と変換光の波長とが同じであっても、信号光の偏波方向と変換光の偏波方向とを互いに直交した状態にできるので、偏光子からは変換光を選択的に透過させることができる。また、この変換光の偏波方向はポンプ光の偏波方向とも直交するので、変換光だけが出力される。

【図面の簡単な説明】

【図1】第1の実施の形態の波長変換装置の構成を示す図である。

【図2】第2の実施の形態の波長変換装置の構成を示す図である。

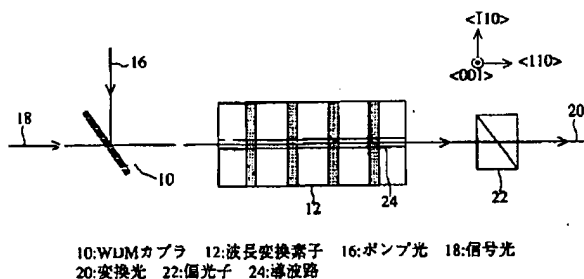
【図3】第3の実施の形態の波長変換装置の構成を示す図である。

【図4】従来の波長変換装置の構成を示す図である。

【符号の説明】

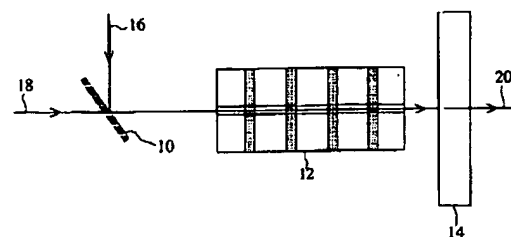
10、10a、10b：WDMカプラ
12、12a、12b：波長変換素子
14：フィルタ 16：ポンプ光
18：信号光
18a：第1偏波方向の信号光成分
18b：第2偏波方向の信号光成分
20：変換光
20a：第1変換光 20b：第2変換光
22：偏光子
24、24a、24b：導波路
26：波長フィルタ
28：偏波分離器 30：偏波合成器
32、34：光ファイバ

【図1】



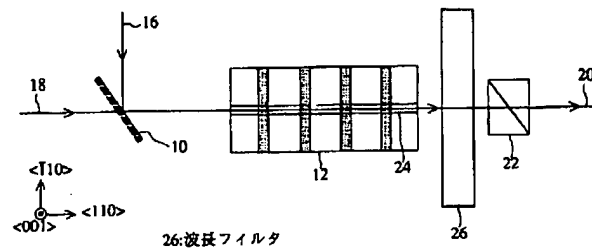
第1の実施の形態の波長変換装置

【図4】



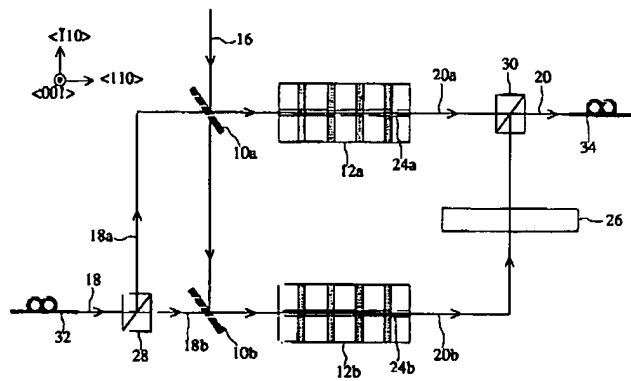
従来の波長変換装置

【図2】



第2の実施の形態の波長変換装置

【図3】



10a,10b:WDMカプラ 12a,12b:波長変換素子 18a:第1偏波方向の信号光成分
18b:第2偏波方向の信号光成分 20a:第1変換光 20b:第2変換光
24a,24b:導波路 28:偏波分離器 30:偏波合成器 32,34:光ファイバ

第3の実施の形態の波長変換装置